

Pods for Healthcare – Ein evolutionärer Ansatz zur Stärkung von Notfallnetzen weltweit

Im Rahmen des Projekts Pods4Rail, das von Europe's Rail JU gefördert wird und an dem Siemens, DLR, EURNEX und Moodley als Partner beteiligt sind, wurde ein innovatives Konzept entwickelt, das ein revolutionärer Ansatz für den medizinischen Notfalleinsatz ist, indem es autonome, modulare Gesundheitskapseln in ein intermodales, schienengebundenes Transportsystem integriert. Die autarken Einheiten ermöglichen den schnellen Einsatz von Intensivversorgung, Operationssälen und fortschrittlicher Diagnostik, um eine medizinische Versorgung auf Krankenhausniveau in Katastrophengebieten, Konfliktzonen und unversorgten Regionen bereitzustellen.

Die europäischen Gesundheitssysteme werden durch die Bevölkerungsalterung und den steigenden Pflegebedarf belastet. Die Herausforderungen werden durch eine schlechte Koordination zwischen den Versorgungsebenen und eine unzureichende Infrastruktur noch verschärft. Mobile Gesundheitseinheiten, die mit modernen medizinischen Geräten ausgestattet sind, bieten eine Lösung, indem sie dezentralisierte Diagnostik und Behandlung anbieten, insbesondere in ländlichen oder unversorgten Regionen. Diese Einheiten können die Krankenhäuser entlasten, den Zugang verbessern und die Widerstandsfähigkeit des Systems erhöhen.

Seit mehr als einem Jahrhundert spielt die Eisenbahn eine wichtige Rolle im Gesundheitswesen; von Ambulanzzügen, die während der Weltkriege zur Evakuierung verletzter Soldaten eingesetzt wurden, bis hin zu modernen Krankenhauszügen wie dem indischen Lifeline Express, der seit 1991 über eine Million Patienten in ländlichen Gebieten kostenlos medizinisch versorgt hat. Traditionell transportierten diese „Krankenhauszüge“ entweder Patienten zu medizinischen Einrichtungen oder fungierten bei planmäßigen Stopps als mobile Kliniken. [1, 2, 3, 4]

Herkömmliche Lazarettzüge hatten eine starre Struktur, die den Einsatz einschränkte und die medizinische Versorgung auf zugängliche Bahnhöfe beschränkte. Moderne Lösungen für die Krisenbewälti-

gung verwenden jetzt erweiterbare, starrwandige Container, die nach ISO-Normen dimensioniert sind und als eigenständige medizinische Einheiten funktionieren. Diese Einheiten können schnell mit Güterzügen oder Schiffen transportiert werden und ermöglichen die Einrichtung vollständiger Behandlungseinrichtungen in abgelegenen oder krisengeschüttelten Gebieten. Im Gegensatz zu Ambulanzzügen, die lediglich Patienten transportieren, bringen diese „containerisierten Krankenhäuser“ eine einsatzfähige medizinische Infrastruktur direkt dorthin, wo sie am dringendsten benötigt wird. [5] Jüngste Studien haben aktualisierte Konzepte für Krankenhauszüge erforscht, deren Anwendung jedoch nach wie vor stark eingeschränkt ist. [6, 7]

Aufbauend auf dem im Rahmen des europäischen Pods4Rail-Projekts entwickelten Ansatz, ein intermodales Transportsystem für einen nahtlosen Übergang zwischen der Schiene und anderen Verkehrsträgern zu schaffen, könnte ein neues, flexibles Modell für die Bereitstellung von medizinischer Notfallausrüstung und -diensten entstehen. Anstatt Patienten in geschlossenen Zügen zu transportieren, können nun voll ausgestattete und skalierbare medizinische Einheiten direkt in Krisengebiete transportiert werden, um eine Behandlung vor Ort zu ermöglichen. Ihr modularer Aufbau ermöglicht den schnellen Aufbau kompletter Ad-hoc-Krankenhäuser. Die Innovation steht im Einklang



Dr. Andreas Liliequist
Head of Cardiothoracic ICU and OR
Perioperative Medicine
Heart and Vascular center
Karolinska University hospital



Dr.-Ing. Armando Carrillo Zanuy
Secretary General EURNEX
(European Rail Research Network of Excellence)
Coordinator Academics4Rail and
PhDs EU-Rail projects
acarrillo@eurnex.eu

Dipl.-Ing. Dirk Winkler
Im Chief Technology Office von Siemens Mobility im Bereich Innovationsstrategie tätig. Seit September 2023 Projektkoordinator und Projektleiter des EU-geförderten Projekts Pods4Rail
dirk.winkler@siemens.com

Dr. Walter Struckl
Bei CTO Office von Siemens Mobility im Bereich innovative Lösungen und alternative Antriebsformen für die Mobilitätsanforderungen der Zukunft. Seit 2012 auch Lehrbeauftragter für Schienenfahrzeugtechnik an der Technischen Universität Wien und Gastdozent für digitale Themen im Bahnbereich
walter.struckl@siemens.com

Maria Traunmüller
Director Strategy and Innovation, moodley strategy & design group GmbH
maria.traunmueller@moodley.com



1: Transport Carrier (TC) und abnehmbarer Pod für medizinische Geräte

mit den wichtigsten europäischen Zielen: Nutzung der Eisenbahn zur Unterstützung der zivilen, militärischen und Notfallmobilität. Die intermodalen Fähigkeiten von Pods4Rail bedeuten, dass die medizinischen Pods überall dort eingesetzt werden können, wo Katastrophenhilfe benötigt wird.

Die zunehmende Belastung der Gesundheitssysteme, der Abbau stationärer Kapazitäten, verzögerte technische Investitionen und die Nachfrage nach mobiler, vernetzter Infrastruktur schaffen eine Chance für Innovationen wie Pods4Rail – nicht nur als technologische Lösung, sondern als strukturelle Ergänzung zur zentralisierten Gesundheitsversorgung.

Implementierung eines mobilen Gesundheitssystems

Die Pod-Systeme sind flexible, autarke medizinische Einheiten, die für den Einsatz auf der Schiene, der Straße, zu Wasser und in der Luft konzipiert sind. Sie sind so konstruiert, dass sie in das Lichtraumprofil der Eisenbahn passen und gleichzeitig den Innenraum maximieren. Jeder Pod unterstützt spezifische medizinische Funktionen und umfasst Systeme für unabhängige Abläufe wie Strom, Wasser, Abfallentsorgung und medizinische Gasproduktion. Einige verfügen über erweiterbare Wände,

um die Nutzbarkeit zu verbessern. Ihr Design ermöglicht einen schnellen Einsatz in entlegenen Gebieten unter Beibehaltung krankenhausgerechter Bedingungen. Die verschiedenen geplanten Pod-Typen sind:

■ Crew Pod (Mannschaftskabine)

Die Mannschaftskabine dient als operatives Zentrum des Lazarettzuges und bietet den medizinischen Teams bei längeren Einsätzen Wohn- und Koordinationsmöglichkeiten. Sie umfasst Schlafkojen, eine kompakte Küche, sanitäre Einrichtungen und einen Bereich für die Koordination des Personals. Die auf Autonomie ausgerichtete Kapsel kann auch als Kommandozentrale fungieren und verfügt über eine Satellitenverbindung für Fernkonsultationen und Echtzeitkoordination mit zentralen Gesundheitsbehörden.

■ AUX (Auxiliary) Pod

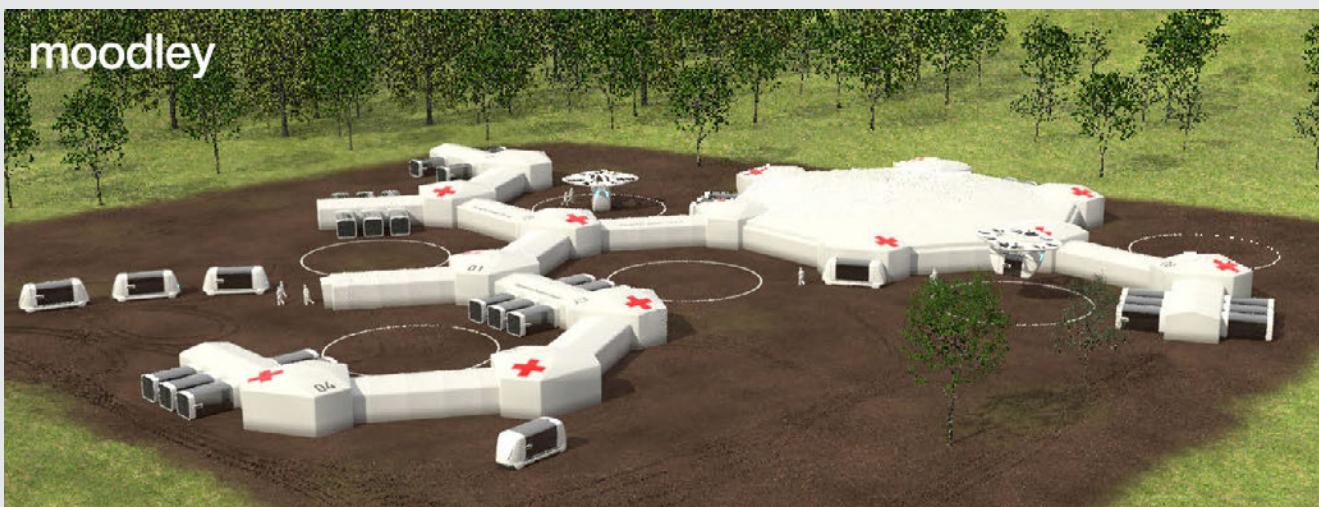
Der AUX-Pod bietet wichtige Unterstützung für den klinischen Betrieb, indem er Infrastrukturen wie Sterilisationssysteme, Lager für medizinische Güter und Apotheken, Wäscherservice und IT-/Netzwerkgeräte beherbergt. In größeren Einrichtungen können mehrere AUX-Pods spezielle Funktionen erfüllen, z.B. als mobile Labore oder als zentrale Knotenpunkte für die Strom- und Wasserversorgung der angeschlossenen Pods.

■ ICU Pod / Intensivstation

Die Intensivstation bietet eine voll ausgestattete, autonome Intensivpflegeumgebung mit bis zu vier Betten, die jeweils mit Beatmungsgeräten, Monitoren, Infusionspumpen und Absaugsystemen ausgestattet sind. Sie wurde für die Bekämpfung von Infektionskrankheiten konzipiert und hat eine Unterdruckisolation und ein gefiltertes HVAC-System. Integrierte PSA-Sauerstoffgeneratoren und eine Notstromversorgung sorgen für eine unterbrechungsfreie Beatmungsunterstützung. Dank der redundanten lebenserhaltenden Systeme arbeitet der Pod auch in abgelegenen oder ressourcenbeschränkten Umgebungen zuverlässig.

■ Stationsmodul

Das Stationsmodul bietet eine flexible stationäre Unterbringung, die je nach Bedarf für 4 bis 8 Betten konfiguriert werden kann und umfasst Patientenüberwachung, Schwesternrufsysteme, medizinische Gasversorgung und Platz für mobile Diagnostik oder Rehabilitation. In der Regel wird es mit Intensivstationen und OP-Gehäusen kombiniert und unterstützt die Übergangspflege und Rekonvaleszenz. Das Stationsmodul erfüllt die Hygienestandards eines Krankenhauses.



2: Modulares Krankenhaus

■ OP-Pod

Der OP-Pod ist ein voll ausgestatteter, mobiler Operationssaal, der den internationalen Standards für sterile Bereiche entspricht. Er verfügt über eine chirurgische Beleuchtung, einen Anästhesiearbeitsplatz, einen Operationstisch, medizinische Gassysteme und eine Sterilisation vor Ort. Ein laminarer Luftstrom und eine HEPA-gefilterte HVAC-Anlage sorgen für eine sterile Umgebung, während stoßdämpfende Halterungen die Ausrüstung während des Transports schützen. Der OP-Pod ist sowohl für Notfälle als auch für geplante Eingriffe konzipiert und bietet volle chirurgische Leistungsfähigkeit vor Ort.

■ CT Pod (Computed Tomography Imaging Unit)

Der CT-Pod bringt hochauflösende diagnostische Bildgebung direkt an den Einsatzort und unterstützt die Beurteilung von Traumata, die Diagnose von Schlaganfällen und die Behandlung von Infektionskrankheiten. Er beherbergt einen Multi-Slice-CT-Scanner in einem vibrationsgedämpften, strahlungsgeschützten Container mit integriertem Kontrollraum, Bildverarbeitungssystemen und Tele-Radiologie-Funktionen. Ausgestattet mit unabhängiger Stromversorgung, Bleiabschirmung und präziser klimatisierter HVAC gewährleistet der Pod einen zuverlässigen Betrieb unter verschiedensten Bedingungen. Beim Militär und im Katastrophenfall ermöglicht er eine schnelle Beurteilung von Verletzungen und die Planung von Operationen. In ländlichen Gebieten bietet er einen wichtigen dia-

gnostischen Zugang, der Verzögerungen reduziert und die Frühintervention verbessert. Als Schlüsselkomponente des mobilen Krankenhaussystems verbessert der CT-Pod die Funktionalität sowohl der Intensivstation als auch des OP.

Anwendungen und Vorteile

Mobile medizinische Einrichtungen auf Schienen bieten anpassungsfähige Lösungen sowohl für die routinemäßige Gesundheitsversorgung als auch für die Notfallversorgung. In Krisengebieten oder abgelegenen Gegenden verkürzt die sofortige Behandlung vor Ort die Wartezeiten, verbessert die Ergebnisse und minimiert die Notwendigkeit eines Patiententransports über lange Strecken. Dies ist besonders wertvoll bei Einsätzen des Militärs, der Katastrophenhilfe oder des öffentlichen Gesundheitswesens, wo der Zugang zu medizinischer Versorgung eingeschränkt ist. Nach Beendigung des Einsatzes kann das mobile Krankenhaus abgebaut und wieder eingesetzt oder zur Basis zurückgebracht werden - ohne dauerhafte Infrastruktur.

Modulare Krankenhauspods sind eine Lösung für die Gesundheitsversorgung in abgelegenen, unversorgten und krisengeschüttelten Gebieten. Sie können regelmäßig ländliche Regionen aufsuchen, innerhalb weniger Stunden eine umfassende medizinische Versorgung in Katastrophengebiete bringen und flexibel bei Großveranstaltungen oder saisonalen Erfordernissen eingesetzt werden. Bei Pandemien können diese Pods als mobile Isolierstationen oder Intensivstationen fungieren und die lokalen Kapazitäten schnell erweitern. Da sie skalierbar und wiederverwendbar sind, sind sie kostengünstiger und umweltfreundlicher als stationäre Krankenhäuser oder Lösungen, die per Flugzeug transportiert werden. Die autarken und schnell einsetzbaren Lazarettszüge können kritische Pflege direkt dorthin bringen, wo sie am dringendsten benötigt wird, wenn die Zeit am wichtigsten ist.

Pod-Konfigurationen sind auf spezifische Einsatzfälle zugeschnitten. Militärische Einrichtungen können traumtaugliche OP-Pods, Intensivstationen mit fortschrittlicher Beatmung und kommandofähige Crew-Pods umfassen, während in Katastrophenszenarien Triage-Stationen, diagnostische AUX-Einheiten und isolationsfähige Intensivstationen zum Einsatz kommen können. Alle Pods entsprechen den Standards für den intermodalen Transport und ermöglichen einen effizienten Transport per Schiene, Straße oder Schiff unter Verwendung automatisierter Handhabungssysteme wie Kräne oder Reach Stacker.

Die speziellen Transporteinheiten werden von autonomen Trägern sowohl auf der Schiene als auch auf der Straße befördert, so dass während des Transports keine zusätzlichen Personen beschäftigt werden müssen. Der Transport wäre aber auch mit herkömmlichen Containertransportfahrzeugen möglich. Während des Einsatzes kann der Medical Pod vor Ort schnell und ebenerdig entladen werden. Nach der Aufstellung am Boden können die Medical Pods nebeneinander oder in einer Reihe

positioniert und über flexible Tunnelräume oder feste Verbindungsstücke zu einer zusammenhängenden Krankenhausstruktur verbunden werden. Auf diese Weise können sich Patienten und Personal sicher zwischen den Einheiten bewegen.

Diese Technologie hat sich bereits in Militär- und Katastrophenkrankenhäusern bewährt. Die französische Notfalleinheit UMPEO beispielsweise verwendet einen 13 Meter langen Container, der sich in fünf Behandlungsräume aufzuklappen lässt, in 20 Minuten einsatzbereit ist und 18 Patienten auf einmal behandeln kann. Das modulare Krankenhauscontainerkonzept überträgt diese Machbarkeit auf den Eisenbahnbereich. [8, 9]

Logistik und Infrastruktur

Die Implementierung von modularen Krankenkapseln auf der Schiene erfordert die Integration in bestehende Logistiksysteme und Infrastrukturen. Die wie überdimensionale intermodale Frachteinheiten konzipierten Pods sind mit den üblichen Bahnstrecken und Umschlaggeräten kompatibel und ermöglichen den Umschlag auf Straßenfahrzeuge für die Zustellung auf der letzten Meile. Bei der Ankunft werden die Züge idealerweise auf Abstellgleisen oder Ausläufen an vorher festgelegten Standorten abgestellt. Die Pods können mit Standard- oder bordeigener Ausrüstung entladen werden, wobei eine flexible ebenerdige Anordnung möglich ist. Für den kurzfristigen Einsatz können sie auf den Waggons verbleiben; bei längeren Einsätzen wird die Platzierung am Boden für eine bessere Zugänglichkeit und Integration bevorzugt. Wenn örtliche Versorgungseinrichtungen vorhanden sind, können die Pods an Strom-, Wasser- und Abwassersysteme angeschlossen oder mit Tankwagen versorgt werden.

Aus bahnbetrieblicher Sicht können Krankenhauszüge über die bestehenden Fahrpläne für den Güterverkehr mobilisiert werden, wobei sie bei Bedarf Vorrang vor anderen Zügen haben. Die europäischen Netze erlauben Sonderfahrten, die einen schnellen Einsatz ermöglichen [11]. Da die Pods in Containern untergebracht sind, können sie bei geringerer Dringlichkeit auch einzeln im normalen Güterverkehr befördert werden. Ein spezieller Zug gewährleistet jedoch eine schnellere Reaktion. Der Krankenhauszug kann als autarker medizinischer Konvoi fungieren, der für längere Einsätze bereit ist.

Mit modularen Pods ausgestattete Krankenhauszüge können über bestehende Güterverkehrsnetze eingesetzt werden. Das intermodale Design ermöglicht es, die Container einzeln oder als Ganzzüge zu transportieren und autarke Hilfskonvois zu bilden. Wenn sie nicht im Einsatz sind, werden sie an strategischen Knotenpunkten gelagert und gewartet.

Danksagung und Haftungsausschluss

Finanziert von der Europäischen Union.

Die geäußerten Ansichten und Meinungen sind jedoch ausschließlich die des Autors / der Autoren und spiegeln nicht unbedingt die der Europäischen Union oder des Gemeinsamen Unternehmens Europe's Rail wider. Weder die Europäische Union noch die Bewilligungsbehörde können für sie verantwortlich gemacht werden. Das Projekt Pods4Rail wird von dem gemeinsamen Unternehmen Europe's Rail und seinen Mitgliedern unterstützt.

DOI 10.61067/250934



Literatur

- [1] Bossig, Klaus: Deutsche Reichsbahn und Landesverteidigung. Katastrophenzüge, Lazaretzüge, sowjetische Militärzüge. EK-Verlag Freiburg 2019, ISBN 978-3-8446-6418-8.
- [2] Alexandria L. Soto, W. Sanders Marble, Justin Barr: Wartime Hospital Trains Have a Track Record of Success. ACS Bulletin, Vol.110 (3), March 2025, pp. 34-40.
- [3] Alan Hawk: An Ambulating Hospital: or, How the Hospital Train Transformed Army Medicine. In: Civil War History 48 (3), 2002, pp.197-219, DOI:10.1353/cwh.2002.0036.
- [4] Jashim Uddin Ahmed, Saima Siddiqui, Asma Ahmed, Kazi Pushpita Mim: Lifeline Express: Hospital Train in Rural India. In: Emerging Economies Cases Journal, February 2021, pp. 1-11, DOI: 10.1177/2516604220977243.
- [5] Raising the bar with a containerized naval hospital, see: <https://www.seabox.com/news/detail/raising-the-bar-with-a-containerized-naval-hospital> (viewed on 22.04.2025.)

[6] Space agency backs hospital train demonstrator. In: Railway Gazette International, 20 October 2020, see: <https://www.railwaygazette.com/technology/space-agency-backs-hospital-train-demonstrator/57607>. article (viewed on 22.04.2025).

[7] <https://iafastro.directory/iac/archive/browse/IAC-21/ES/4/65480/>

[8] New mobile hospital to support emergency medical services (14/01/2021) see: <https://www.theagilityeffect.com/en/article/new-mobile-hospital-to-support-emergency-medical-services/> (viewed on 22.04.2025).

[9] Vanessa Houze-Cerfon, Benoit Vault, Eric Marcou, Thomas Pardon, Anna Ribera-Cano, Cédric Nouzières, Vincent Boune: An Innovative Mobile Hospital for the Management of a Massive Flow of Victims. 22nd Congress on Disaster and Emergency Medicine, Volume 38 - Supplement S1 - May 2023, DOI:10.1017/S1049023X23002522

[10] Jacobs Engineering. Reimagining Shipping Containers as Emergency ICUs (CURA Pods) (2020) – COVID-19 project converting 20-ft containers into biocontainment ICU units in Italy.

[11] Commission implementing regulation (EU) 2025/675 of 4 April 2025 Military Mobility: European Commission adopts new specifications for EU-wide authorisation of carriages for personnel escorting military freight trains.

Summary

Pods for Healthcare - An evolutionary approach to strengthen emergency networks worldwide

The Pods4Rail project, funded by Europe's Rail JU and involving Siemens, DLR, EURNEX and Moodley as partners, has developed an innovative concept that is a revolutionary approach to emergency medical deployment by integrating autonomous, modular healthcare pods into an intermodal, rail-based transport system. The self-sufficient units enable the rapid deployment of intensive care, operating theatres and advanced diagnostics to provide hospital-level medical care in disaster areas, conflict zones and underserved regions. In contrast to conventional hospital trains, which are primarily geared towards the evacuation of patients, this concept brings complete, mobile hospitals directly to where they are needed. Beyond emergency response, this system also revolutionises general healthcare by bringing high-cost diagnostic services to rural and underserved areas in response to demographic changes and limited resources. By utilising intermodal logistics, these scalable medical units ensure fast, efficient and sustainable healthcare.